

# **ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ПРОХОДНОЙ ОПТИКИ МОЩНЫХ ИК ЛАЗЕРОВ**

**Белых М.С.**

*ст. н. с. канд. ф.-м. н. Кугаенко О.М.*

Национальный Исследовательский Технологический Университет  
«Московский Государственный Институт Стали и Сплавов», г.Москва  
CrystalXXI@misis.ru

Создание надежной и долговечной проходной оптики мощных  $\text{CO}_2$ -лазеров ограничено выбором материалов оптических элементов (ОЭ). Щелочногалоидные кристаллы (ЩГК) с коэффициентом оптического поглощения  $\beta$  в ИК области спектра порядка  $10^{-4} \text{ см}^{-1}$  перспективны для изготовления крупногабаритных ОЭ проходной оптики широкоапертурных лазеров ИК диапазона: окон вывода излучения, линз, призм, клиньев. В качестве основного материала ОЭ выбран кристалл КС1. Недостатком кристаллов является низкая механическая прочность. Для решения задачи увеличения лазерной стойкости и механической прочности оптических элементов из ЩГК и расширения возможностей их использования в оптических трактах мощных лазерных установок разработаны способы термомеханической обработки ЩГК.

Экспериментальный стенд позволяет проводить термомеханическую обработку (ТМО) путем одноосного сжатия монокристаллических пластин из КС1, диаметром до 300 мм, высотой до 130 мм, при температурах до 900 К, нагрузках до 1200 кН, скорости деформации 0,01-1 мм/мин. Исследована пластическая деформация кристаллов КС1, микроструктура, релаксация напряжений, прочность при циклических нагрузках, микроструктура и оптическая однородность деформированных кристаллов, состояние примесных центров в кристаллах, оптическая стойкость кристаллов к воздействию широкоапертурного лазерного ИК излучения с длиной волны 10,6 мкм, с апертурой до 15 см.

Эффект деформационного упрочнения КС1 имеет наибольшее значение при ТМО при степени пластической деформации  $\varepsilon = 10 - 15 \%$  при температурах 450 – 500 К, а затем как с увеличением степени деформации, так и с ростом температуры ТМО эффект упрочнения снижается. Упрочнение характеризуется образованием мелкозернистой однородной структуры первичной рекристаллизации, термомеханические напряжения в кристалле в значительной степени релаксированы. С повышением температуры ТМО наблюдается связанный с собирательной рекристаллизацией рост зерен, приводящий к получению неоднородной крупнозернистой микроструктуры и разупрочнению кристаллов.

Мелкозернистая структура сохраняет свои свойства в течение длительного времени и при нагреве до  $T = 350 - 400 \text{ К}$ , что важно для эксплуатации оптических элементов. Нагрев упрочненных кристаллов выше

500 К приводит к снижению достигнутого упрочнения, что связано с процессом собирательной рекристаллизации.

Усталостная прочность при циклических механических воздействиях кристаллов после ТМО исследована на деформационной установке Zwick Z5.0 (с максимальным усилием испытаний 5 кН) при комнатной температуре путем знакопостоянного циклического нагружения сжатием с частотой 1 Гц при напряжениях ниже предела текучести, количество циклов от 20 до 100. Частота механического воздействия соответствует частоте воздействия на кристалл импульсно-периодического лазерного излучения.

При знакопостоянном циклическом сжатии монокристаллы KCl выдерживают циклические нагрузки при статической нагрузке 10Н (0,6 кгс/мм<sup>2</sup>) и амплитуде 10 % от значения нагрузки в течение 100 циклов нагружения без деформации. При повышении нагрузки, при 20Н (при напряжении 1,2кгс/мм<sup>2</sup>) и амплитуде 10%, в начальный период циклического нагружения после 5-10 циклов нагружения наблюдается дополнительное упрочнение в результате пластической деформации кристаллов, приводящей к образованию лабиринтной структуры, после чего образец выдерживает без деформации и разрушения 100 циклов нагружения.

Воздействие циклических нагружений на упрочненные кристаллы показало, что после ТМО при 430-450 К кристаллы выдерживают при комнатной температуре без деформации циклические нагрузки при статической нагрузке до 400Н (30кгс/мм<sup>2</sup>) и амплитуде 10 % от значения нагрузки в течение 100 циклов нагружения. ТМО приводит к повышению устойчивости термоупрочненного кристалла KCl к многократным циклическим нагрузкам, по величине примерно в 30 раз превышающих значение механических напряжений, приводящих к разрушению и к пластической деформации исходных монокристаллов.

Испытания стойкости оптических элементов из KCl к воздействию излучения CO<sub>2</sub>-лазера при различных режимах облучения показали, что ТМО монокристаллов приводит к повышению срока эксплуатации окон вывода излучения в 3 - 10 раз при непрерывном облучении, в 1,2 - 1,5 раза - при импульсном облучении с повышением удельной лазерной нагрузки на 20 – 50 % по сравнению с элементами, изготовленными из исходных монокристаллов без ТМО.